

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА  
КОЛЛЕКТОРСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ

М.В. Субботина<sup>1</sup>, А.С. Мазурова<sup>1</sup>, А.М. Горшков<sup>2</sup>, И.С. Хомяков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

<sup>2</sup>АО «Геологика», г. Новосибирск, Россия

Традиционные запасы нефти в России постепенно снижаются, поэтому все больший интерес представляют нетрадиционные источники углеводородов. Перспективным источником нетрадиционной нефти в России является крупнейшая сланцевая формация – баженовская свита (Западно-Сибирская нефтегазоносная провинция), имеющая площадное распространение около 1 000 000 км<sup>2</sup> и среднюю мощность 30 м [5]. Ресурсы баженовской свиты, оценивающиеся в 22 млрд. тонн нефти [8], представлены как легкой нефтью, так и керогеном различной степени катагенетической зрелости, который может быть вовлечен в разработку только с применением тепловых методов повышения нефтеотдачи. Одним из таких методов является технология внутрипластовой конверсии керогена баженовской свиты в синтетическую нефть. В результате пиролиза и крекинга керогена выделяются жидкие и газообразные углеводороды, а также формируется микро и макротрещиноватость матрицы сланцевых пород, что позволяет повысить степень извлечения нефти и газа за счет увеличения дренируемых зон. На сегодняшний день известно незначительное количество экспериментальных исследований моделирования процесса внутрипластового пиролиза на образцах керна баженовской свиты, которые, в основном, направлены на изучение количества и состава жидких и газообразных углеводородов, образующихся в результате пиролиза керогена [7].

**Целью** данной работы являлось исследование влияния теплового воздействия на фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС) горных пород баженовской свиты.

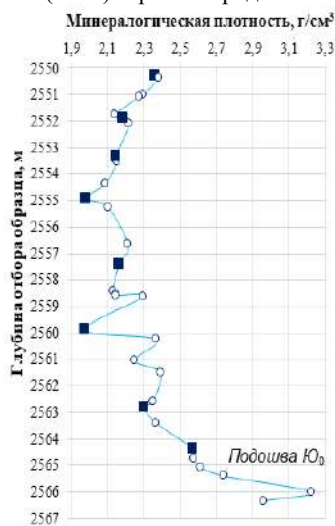


Рис. 1 Изменение минералогической плотности образцов керна по глубине

В качестве **объекта** исследования были выбраны образцы керна баженовской свиты (пласт Ю<sub>0</sub>), вскрытой разведочной скважиной 401Р Орехово-Ермаковского нефтяного месторождения (Тюменская область). Уровень катагенеза органического вещества баженовской свиты – МК<sub>1</sub><sup>2</sup>(Г) по данным метода Rock-Eval.

В ходе работы были исследованы 8 образцов керна, отобранных равномерно по толщине пласта Ю<sub>0</sub> (рис.1). Значения минералогической плотности исследуемых образцов керна изменяются в диапазоне от 1,97 до 2,57 г/см<sup>3</sup> и определяются, в основном, содержанием органического вещества (от 22,5 до 3,6% соответственно).

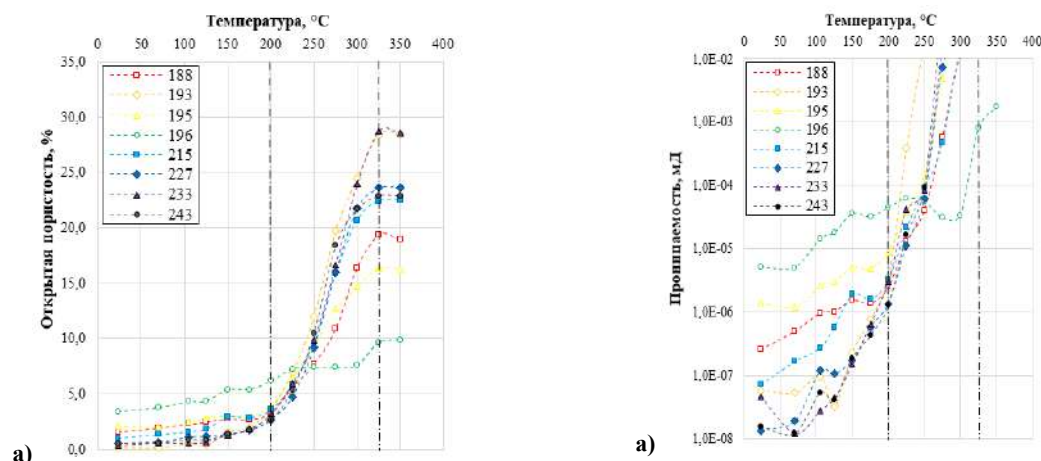
Сущность лабораторных экспериментов по исследованию влияния теплового воздействия на горные породы баженовской свиты заключалась в ступенчатом нагреве раздробленных образцов керна в муфельной печи в кислородной среде от 70 до 350 °С. Время обработки составляло 24 часа во всех экспериментах. Стоит отметить, что после каждой ступени нагрева исследуемые образцы охлаждались до комнатной температуры и определялись их петрофизические свойства: минералогическая плотность, открытая пористость и матричная проницаемость.

Изучение петрофизических свойств керна баженовской свиты было проведено на образцах с естественной насыщенностью на сланцевом пермеамetre SMP-200 (Core Lab Instruments, USA) [3].

Перед началом исследования полноразмерный керн дробился и просеивался на ситах с размером ячеек 5 и 2 мм для получения однородной по размеру фракции. Масса исходной навески составляла около 40 грамм.

Объемная и минералогическая плотность определялась газовольметрическим методом в рабочей камере пермеамetra SMP-200. В основе работы прибора лежит закон Бойля, по которому происходит калибровка всех рабочих емкостей перед каждой серией экспериментов, определение мертвого объема и объема образца во время всего эксперимента с высокой точностью [6]. Открытая пористость рассчитывалась по значениям объемной и минералогической плотности.

Матричная проницаемость образцов баженовской свиты определялась на раздробленном керне методом «Gas Research Institute» (GRI) [2, 4]. Данный метод позволяет значительно сократить продолжительность экспериментов по определению проницаемости, а также исключить влияние естественной трещиноватости сланцев на значения проницаемости. В основе метода GRI лежит аппроксимация параметрической кривой экспериментальных данных падения давления, которое возникает из-за проникновения гелия в микропоры отдельных частиц дезинтегрированного керна, и последующее вычисление матричной проницаемости по параметрам полученной кривой [1–2, 4].



**Рис. 2** Изменение фильтрационно-емкостных свойств горных пород баженовской свиты в зависимости от температуры теплового воздействия: а) изменение открытой пористости; б) изменение матричной проницаемости

Результаты экспериментальных исследований влияния теплового воздействия на коллекторские свойства горных пород баженовской свиты представлены на рис. 2.

Условно изменение открытой пористости и матричной проницаемости исследуемых образцов керна баженовской свиты можно разделить на три этапа (рис. 2):

- 1 этап (температура от 70 до 200 °С) – незначительное увеличение ФЕС за счет испарения воды и легких углеводородов в образце (увеличение пористости на 1,5 - 2,5%, проницаемости – на 1 - 2 порядка);

- 2 этап (температура от 200 до 325 °С) – пиролиз керогена и основная фаза превращения жидких и газообразных углеводородов, которая сопровождается значительным увеличением открытой пористости (до 30 %) и матричной проницаемости (более 6 порядков);

- 3 этап (температура более 325 °С) – полная реализация генерационного потенциала баженовской свиты (превращение керогена в жидкие и газообразные углеводороды), фиксируемая отсутствием изменения минералогической плотности и ФЕС горных пород (рис. 2а).

В результате проделанной работы можно сделать вывод, что тепловое воздействие на породы баженовской свиты в диапазоне температур от 200 до 325 °С оказывает существенное влияние на их коллекторские свойства. Первоочередными объектами для проведения внутрипластового пиролиза пород баженовской свиты должны выбираться пропластки с высоким содержанием керогена, который определяет эффективность процесса.

#### Литература

1. Gorshkov A.M., Kudryashova L.K., Lee-Van-Khe O.S. Petrophysical rock properties of the Bazhenov Formation of the South-Eastern part of Kaymysovsky Vault (Tomsk Region) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2016. – Vol. 43: Problems of Geology and Subsurface Development. – Tomsk, 2016. – 012010, 6 p.
2. GRI-95/0496 Development of Laboratory and Petrophysical Techniques for Evaluating Shale Reservoirs/ Final technical report. – Gas Research Institute. Chicago, Illinois. October 1986 – September 1993.
3. GRI (Crushed Shale) Analysis [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.corelab.com/ps/gri-analysis>.
4. Luffel D.L., Hopkins C.W. Matrix Permeability Measurement of Gas Productive Shales. SPE Annual Technical Conference and Exhibition (3–6 October, Houston, Texas, USA). SPE 26633-MS, – 1993.
5. Афанасьев И.С., Гаврилова Е.В., Бирун Е.М., Калмыков Г.А., Балущкина Н.С. Баженовская свита. Общий обзор, нерешенные проблемы // Научно-технический вестник ОАО «НК Роснефть». – 2010. – № 4. – С. 20 – 25.
6. Горшков А. М. Лабораторные методы определения открытой пористости, адаптированные к сверхнизкопроницаемым горным породам отложений баженовской свиты // Природные процессы в нефтегазовой отрасли. Geonature 2017 = Natural processes in oil and gas field. Geonature 2017: сборник научных трудов Международной научно-практической конференции / отв. ред. И. И. Нестеров. – Тюмень: ТИУ, 2017. – С. 31 – 36.
7. Калмыков А.Г., Бычков А.Ю., Калмыков Г.А., Бугаев И.А., Козлова Е.В. Генерационный потенциал керогена баженовской свиты и возможность его реализации // Георесурсы. – 2017. – № 5. – С. 165 – 172.
8. Тимакова Н. «Льготный тариф», Коммерсант, приложение «Нефть и газ». – № 110. – 20 июня 2012.